

KERÁMIA GÖMBHÉJJAL TÖLTÖTT SZINTAKTIKUS FÉM HABOK TÖRÉSMECHANIKAI VIZSGÁLATA

FRACTURE MECHANICS TESTING OF CERAMICS HOLLOW SPHERES FILLED SYNTACTIC FOAMS

Katona Bálint¹, Szlancsik Attila¹, Orbulov Imre Norbert¹

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Anyagtudomány és Technológia Tanszék, 1111, Magyarország, Budapest, Bertalan Lajos utca 7. MT. épület, Telefon+36-1-463-1114

¹katona@eik.bme.hu, ²szlancsik@eik.bme.hu, ³orbulov@eik.bme.hu

Abstract

Metal matrix syntactic foams are applicable on many fields: crash zone parts and protecting shells for aerial vehicles or automotive, vibration damper. Recent work deals with the fracture mechanic testing of ceramic hollow spheres filled Al99.5 or AlSi12 matrix syntactic foams. In our study 3-point bending test was used on notched specimens while the notch opening and the bending force were monitored and registered. By the evaluation of the results K_Q (under certain conditions K_{IC}) can be calculated for the investigated materials.

Keywords: metal matrix composites, material testing, syntactic foam, fracture mechanics

Összefoglalás

A fémmátrixú szintaktikus fémhabok számos területen alkalmazhatóak: légi járművek vagy autóipari ütköző zónák energiaelnyelő elemeiként, védőburkolatokként. Jelen kutatómunka kerámia gömbhéjakkal töltött Al99,5 és AlSi12 mátrixú szintaktikus fémhabok törésmechanikai mérés technikájával foglalkozik. Munkánk során bemetszett próbatesteket vetettünk alá 3-pontos hajlító vizsgálatnak, amelyből repedéskinyílás-nyomóerő görbéket kaptunk. Az eredményeket kiértékelve K_Q (bizonyos feltételekkel K_{IC}) meghatározható az adott anyagokra.

Kulcsszavak: fémmátrixú kompozit, anyagvizsgálat, szintaktikus fémhab, törésmechanika

1. Bevezetés

Hazai és nemzetközi viszonylatban is egyre nagyobb az érdeklődés a különböző fémmátrixú kompozitok, fémhabok, így a kerámia gömbhéjakkal töltött alumínium mátrixú szintaktikus fémhabok iránt is. Az ilyen anyagokból készülő alkatrészek gyártásához és használatához fontos ismerni az alapanyag minden olyan tulajdonságát (fáradás, repedésterjedés), ami befolyásolhatja az adott szerkezet üzem közbeni és hosszú

távú megbízható működését. Számos szakcikk foglalkozik a szintaktikus fémhabok mechanikai vizsgálatával [1], nyomóvizsgálatával [2,3], struktúrájának leképezésével [4]. Ezzel szemben az anyag törésmechanikai és fáradási tulajdonságairól csak kevés szakirodalom lelhető fel [5-7].

Az előbbieket szem előtt tartva a kutatás fő célkitűzései technikai tisztaságú alumínium, illetve AlSi12 alumínium ötvözet mátrixú vegyesoxid kerámia gömbhéjakkal töltött szintaktikus fémhabok törésmecha-

nikai jellemezőinek mérése és az eredmények alapján a tervezéshez is fontos határgörbék, mennyiségek meghatározása.

2. Felhasznált anyagok és mérési módszerek

A kutatómunka során vizsgált szintaktikus fémhab anyagot a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Karán, az Anyagtudomány és Technológia Tanszék Kompozit laborjában állítottuk elő inert gáz (Ar) nyomással segített, folyadék fázisú infiltrálással. Vizsgálatainkhoz két különböző típusú alumínium mátrixot alkalmaztunk: technikai tisztaságú Al99,5-t és ötvözött AlSi12-t. A befoglaló anyagok mért kémiai összetételét az 1. táblázat mutatja.

1. táblázat. A vizsgálatokhoz használt mátrix anyagok kémiai összetétele.

Mátrix	Összetétel (t%)				
	Al	Si	Fe	Mg	egyéb
Al99,5	99,5	0,1	0,1	-	0,3
AlSi12	86	12,8	0,1	0,1	1,0

A vizsgált szintaktikus fémhabokban töltőanyagként a Hollomet GmbH Globocer típusú vegyesoxid kerámia gömbhéjait használtuk. Az alkalmazott töltőanyag kémiai összetétele a 2. táblázatban, főbb geometriai méretei pedig a 3. táblázatban találhatóak.

A törésmechanikai mérést, vagyis az anyag repedésterjedési érzékenységet bemetszett próbatesten 3-pontos hajlító vizsgálattal hajtottuk végre. A mérés közben regisztráltuk a terhelő hajlítóerőt a repedéskinyílás függvényében.

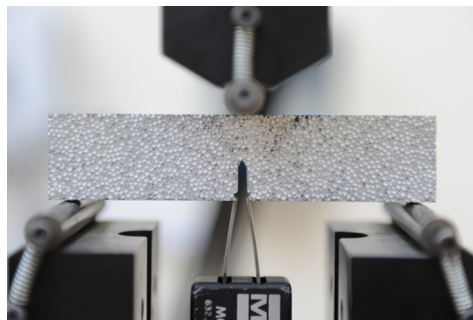
2. táblázat. Az alkalmazott töltőanyag kémiai összetétele.

Típus	Összetétel (t%)		
	Al ₂ O ₃	amorf SiO ₂	mullite (Al ₂ O ₃ :SiO ₂)
Globocer	33	48	19

3. táblázat. Az alkalmazott töltőanyag geometriai méretei.

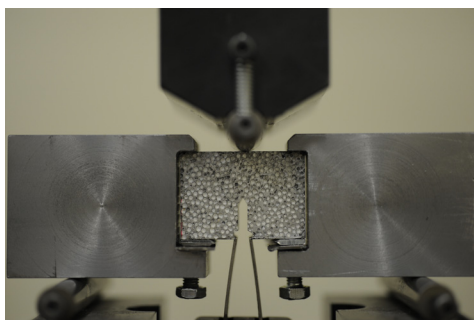
Típus	Átmérő (μm)	Falvastagság (μm)
Globocer	1450±83	58±5

Előzetes méréseinkhez egy $W=25$ mm magasságú $B=W/2$ szélességű és $S=4W$ alátámasztású bemetszett próbatestet alkalmaztunk, a bemetszés sugara 0,25 mm volt. (1. ábra). A minta nem volt előfárasztva.

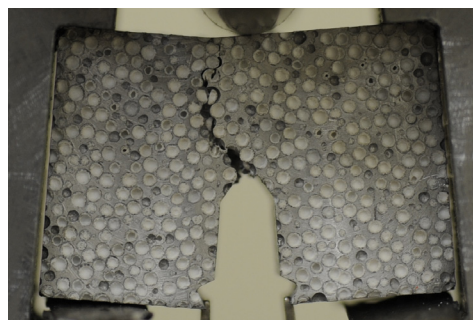


1. ábra. A vizsgált anyag 3-pontos hajlító vizsgálata bemetszett próbatesten, mérési elrendezés.

Megfigyeltük, hogy a próbatest csak a bemetszett régió közvetlen közelében szenved alakváltozást, illetve károsodást. Ezt szem előtt tartva létrehoztunk egy készüléket, amely segítségével elegendő egy jóval kisebb fémhab anyagrészt vizsgálni (2. ábra). Ez gazdaságosabbá teszi a mérést, mivel egységnyi anyagmennyiségből jóval több próbatest hozható létre, így nagyobb mintaszám érhető el. A kisebb méretű próbatest szintén $W=25$ mm magassággal $B=W/2$ szélességgel és $S=4W$ alátámasztással rendelkezett. Az a repedéshossz minden minta esetében 12 mm volt. A kutatómunka során mindkét mátrixanyagú mintából 4-4 próbatestet vizsgáltunk.



2. ábra. A készülékbe helyezett bemetszett fémhab darab a 3-pontos hajlító vizsgálathoz, mérési elrendezés.



3. ábra. Mérés közbeni felvétel az AlSi12-2 jelű mintáról.

A hajlító vizsgálatok közben a próbatestekről nagyfelbontású képeket készítettünk diszkrét időközönként. Ezen felül a töretfelületet optikai sztereo mikroszkóp segítségével vizsgáltuk meg a mérések követően.

3. Eredmények

A nagyfelbontású képeket elemezve világosan megfigyelhető, hogy a repedés terjedés irányát az anyagban lévő gömbhéjak drasztikusan befolyásolják. A repedés jellemzően a gömbhéjak mellett, a mátrix anyagban terjed, azonban bizonyos esetben a gömbhéjakon keresztül megy. A különböző mátrixanyagú mintákban a repedés irányában megfigyelhető gömbhéj állapotokat a 4. táblázat mutatja. A repedés síkja esetenként jelentősen kilépett a bemetszés síkjából (3. ábra).

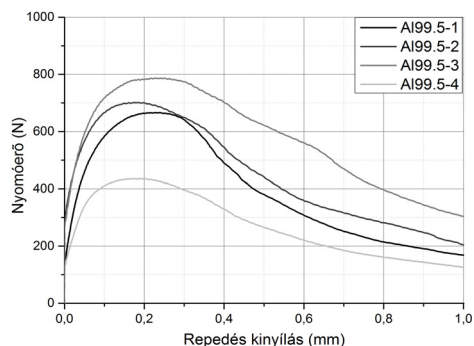
4. táblázat. A vizsgált töretfelületeken található különböző állapotú gömbhéjak mennyisége a különböző mátrixanyagú minták esetében.

Mátrix	Gömbhéj (%)		
	Ép	Törött	Kiesett
Al99.5	63	16	21
AlSi12	27	70	3

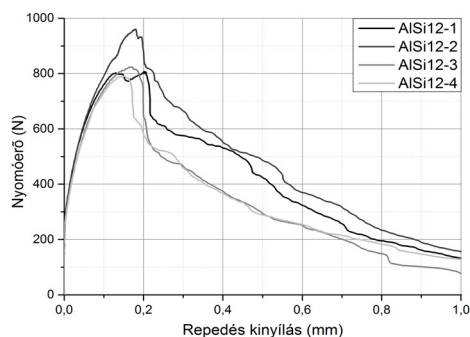
Látható, hogy az ipari tisztaságú alumínium mátrix esetében a gömbhéjak túlnyomó része ép maradt és közel ötöde kiesett. Ezzel szemben a szilíciummal ötvöztött mátrixú mintáknál a kiesett gömbhéjak aránya minimális, viszont a töretfelületen vizsgált gömbhéjak túlnyomórésze eltört. Ezek a különbségek a kerámia gömbhéjak mátrix anyaghoz való eltérő kapcsolódása miatt lehetséges.

A hajlító vizsgálatok eredményeként megkaptuk a repedéskinyílás függvényében a nyomóerőt, a különböző mátrixanyagú szintaktikus fémhab próbatestek esetében (4. és 5. ábra). Megfigyelhető, hogy mind az Al99,5 és mind az AlSi12 mátrixanyagú minták esetében vannak kiugró értékek, amely jelenség a vizsgált minták struktúrájára vezethető vissza.

A görbék alapján meghatározhatóak a próbatestekre jellemző K_Q feszültség-intenzitási tényezők értékei. Ennek első lépése, hogy a görbék kezdeti szakaszára illesztett egyenes meredekségét 5%-al csökkentjük. Ennek az egyenesnek az eredeti görbével vett metszéspontja mutatja meg az ún. F_Q erő értékét. Ennek, valamint a próbatest geometriai méreteinek ismeretében az (1) összefüggés alapján meghatározhatók a K_Q értékek (5. táblázat).



4. ábra. A 3-pontos hajlító vizsgálatokból kapott nyomóerő-repedéskinyílás görbék az Al99,5 mátrixanyagú minták esetében



5. ábra. A 3-pontos hajlító vizsgálatokból kapott nyomóerő-repedéskinyílás görbék az AlSi12 mátrixanyagú minták esetében

$$K_Q = \frac{F_Q S}{BW^{\frac{3}{2}}} \cdot g\left(\frac{a}{W}\right) \quad (1)$$

Ahol $g(a/W)$ csak a geometriától függő alaktényező. Megfigyelhető, hogy különböző mátrixanyagú minták esetében (átlagosan) nagy eltérés van a K_Q értékek között, amely az eltérő alapanyag miatt jelentkezik. Fontos megemlíteni, hogy ezek az értékek még nem anyagjellemzők, azok meghatározásához további mérések szükségesek.

5. táblázat. A mérések alapján meghatározható F_Q értékek átlaga, valamint az ezekből számítható K_Q értékek átlaga.

Mátrix	F_Q (N)	K_Q (N/mm ^{3/2})
Al99,5	483±128	115±30
AlSi12	711±126	165±31

Köszönetnyilvánítás

AZ EMBERI ERŐFORRÁSOK MINISZTERIUMA
 ÚNKP-16-3-I. KÓDSZÁMÚ ÚJ NEMZETI KIVÁLÓSÁG
 PROGRAMJÁNAK TÁMOGATÁSÁVAL KÉSZÜLT”

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Taherishargh M, Belova IV et al.: *On the mechanical properties of heat-treated expanded perlite-aluminium syntactic foam*. Mater Des. 2014;63:375–83.
- [2] Fiedler T, Taherishargh M, et al.: *Dynamic compressive loading of expanded perlite/aluminum syntactic foam*. Mater Sci Eng A 2015;626:296–304.
- [3] Orbulov I.N., Ginsztler J.: *Compressive characteristics of metal matrix syntactic foams*. Composites Part A, 2012;43(4):553–61.
- [4] Varga T.A., Mankovits T.: *Fémhabstruktúrák elemzése és geometriai modellezése*. Műszaki és Menedzsment Tudományi Közlemények 1 2016;2:145-152.
- [5] E. Combaz, A. Mortensen: *Fracture toughness of Al replicated foam*. Acta Materialia, 2010;58:4590–4603.
- [6] Katona B., Szebényi G. et al.: *Fatigue properties of ceramic hollow sphere filled aluminium matrix syntactic foams*. Materials Science and Engineering A-Structural Materials Properties Microstructure and Processing, 2017, 679C:350-357.
- [7] M. Taherishargh, B. Katona et al.: *Fatigue properties of expanded perlite/aluminum syntactic foams*. Journal of Composite Materials, 2016:1-9.